

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D	08 JUN 2004
WIPO	PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

BEST AVAILABLE COPY

Aktenzeichen: 103 23 336.9

Anmeldetag: 23. Mai 2003

Anmelder/Inhaber: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung eV, 80686 München/DE; Laser-Laboratorium Göttingen eV, 37077 Göttingen/DE; Sennheiser electronic GmbH & Co KG, 30900 Wedemark/DE.

Bezeichnung: Anordnung zur optischen Abstandsbestimmung einer reflektierenden Oberfläche

Priorität: 07. April 2003 DE 103 16 924.5

IPC: G 01 B, G 01 H, G 02 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 4. Mai 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Klostermeyer



Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur optischen Abstandsmessung einer reflektierenden Oberfläche, die insbesondere für die Bestimmung geringer Abstandsveränderungen, wie sie häufig bei schwingenden Systemen vorkommen, eingesetzt werden kann. Eine solche Anordnung kann auch als optisches Mikrofon oder Hydrophon eingesetzt werden. Die erfindungsgemäße Anordnung ist dabei so aufgebaut, dass Licht einer Lichtquelle über eine erste Lichtleitfaser auf eine reflektierende Oberfläche gerichtet und von dort reflektiertes Licht über die erste Lichtleitfaser oder mindestens eine weitere Lichtleitfaser auf mindestens einen statisch angeordneten optischen Detektor gerichtet ist. Zwischen der reflektierenden Oberfläche und der einen oder mehreren Lichtleitfasern ist ein in Richtung auf die reflektierende Oberfläche kollimierendes optisches Element angeordnet. Des Weiteren sind mindestens zwei in Richtung auf die reflektierende Oberfläche fokussierende optische Elemente, deren optische Achsen parallel zur optischen Achse des kollimierenden optischen Elementes ausgerichtet sind und in konstanten Abständen zueinander angeordnet sind, oberhalb der reflektierenden Oberfläche angeordnet.

1
9

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT... e.V., Laser-Laboratorium
Göttingen e.v., Sennheiser electronic GmbH & Co KG
038P 0846

Anordnung zur optischen Abstandsbestimmung einer
reflektierenden Oberfläche

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur optischen
Abstandsbestimmung einer reflektierenden Oberfläche,
die insbesondere für die Bestimmung geringer Ab-
standsveränderungen, wie sie häufig bei schwingenden
Systemen vorkommen, vorteilhaft einsetzbar ist. Sie
kann als optisches Mikrofon oder Hydrophon eingesetzt
werden.

Hierzu sind verschiedene Messprinzipien bekannt, bei
denen sich der Einkoppelgrad zwischen zwei Lichtleit-
fasern, die Phasenmodulation oder die Polarisation
von Licht in veränderter Form auswerten lässt, be-
kannt.

Aus US 3,940,608 sowie US 5,073,027 sind Lösungen be-
kannt, bei denen Licht einer Lichtquelle über mindes-

tens eine Lichtleitfaser auf eine reflektierende Oberfläche gerichtet wird und von dieser reflektierenden Oberfläche rückreflektiertes Licht über ebenfalls die eine oder eine weitere Lichtleitfaser auf einen optischen Detektor gerichtet und die jeweilige Intensität des detektierten Lichtes, als Maß für den jeweiligen Abstand der reflektierenden Oberfläche genutzt wird.

Bei diesen bekannten Lösungen wird aber das jeweils auf die reflektierende Oberfläche gerichtete Licht mittels optischer Elemente in diese Richtung fokussiert, so dass in Abhängigkeit des jeweiligen Abstands der reflektierenden Oberfläche ein mehr oder weniger großer Lichtfleck zu verzeichnen ist und dieser im günstigsten Fall vollständig auf dem optischen Detektor abgebildet werden kann.

Bei sich verändernden Abständen der jeweiligen reflektierenden Oberfläche verändert sich entsprechend die Größe der Abbildung, wodurch im Zusammenspiel der Vignettierung an der Apertur der Lichtleitfaser für das rückreflektierte Licht eine entsprechende Änderung der mit dem optischen Detektor erfassbaren Lichtintensität ergibt, die als Messsignalwert proportional zum jeweiligen Abstand oder einer aufgetretenen Abstandsänderung ausgewertet werden kann.

So ist insbesondere in US 5,073,027 eine Lösung beschrieben, bei der lediglich eine Lichtleitfaser für die Bestrahlung der jeweiligen reflektierenden Oberfläche und die Führung von von dort reflektiertem Licht zu einem optischen Detektor eingesetzt wird.

Dabei soll mit der dort beschriebenen Lehre eine Möglichkeit geschaffen werden, in dem durch Variation

von Abständen zwischen der Stirnfläche der Lichtleitfaser, aus der Licht aus- und reflektiertes Licht eingekoppelt wird und fokussierenden optischen Elementen eine Anpassung auf unterschiedliche Abstandsmessbereiche mit jeweils erhöhter Messempfindlichkeit erreicht werden soll.

Bei der in US 3,940,608 beschriebenen Lösung werden mehrere Lichtleitfasern für die Bestrahlung der reflektierenden Fläche und auch für auf einen oder mehrere Detektor(en) zu richtende reflektierte Strahlung eingesetzt, wobei sowohl für die Bestrahlung, wie auch für das reflektierte Licht gleiche optische Elemente zwischengeschaltet sind.

Durch Auswahl des jeweiligen Abbildungsmaßstabes besteht so die Möglichkeit Einfluss auf die Steilheit der durch auftretende Abstandsänderungen erfassbaren Lichtintensitäten mit optischen Detektoren in bestimmten Grenzen vornehmen zu können.

Dabei gilt, dass die Steilheit bei sich entsprechend verändernden Lichtintensitäten umso größer wird, je kleiner der jeweilige Abbildungsmaßstab gewählt worden ist.

Dabei ist aber die Divergenz der Lichtstrahlung, die auf die reflektierende Oberfläche gerichtet ist, ein wesentliches Maß, mit dem die erreichbare Steilheit, der sich verändernden Lichtintensität begrenzt wird.

Da sich die Strahldivergenz im Objekt- bzw. Bildraum und die Objekt- bzw. Bildgröße bei abbildenden Optiken gegenläufig ändern, kann aber der Abbildungsmaßstab von entsprechenden Optiken nicht beliebig reduziert werden, da die Lichtstrahldivergenz im Bildraum

dann zu hohe Werte annehmen würde.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung eine optische Anordnung zur Verfügung zu stellen, mit der Abstände zu reflektierenden Oberflächen mit erhöhter Messempfindlichkeit bestimmt und/oder bereits kleine Abstandsveränderungen mit hoher Empfindlichkeit detektiert werden können.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit einer Anordnung, die die Merkmale des Anspruchs 1 aufweist, gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungsformen und Weiterbildungen der Erfindung können mit den in den untergeordneten Ansprüchen bezeichneten Merkmalen erreicht werden.

Die erfindungsgemäße Anordnung zur optischen Abstandsbestimmung von reflektierenden Oberflächen verwendet ebenfalls zumindest eine Lichtleitfaser, über die Licht einer Lichtquelle auf eine reflektierende Oberfläche gerichtet und dementsprechend von dieser Oberfläche reflektiertes Licht über diese oder mindestens eine weitere Lichtleitfaser auf mindestens einen optischen Detektor abgebildet werden kann. Mit dem optischen Detektor wird analog zu den Lösungen aus dem Stand der Technik, die sich in Abhängigkeit von ändernden Abständen verändernde messbare Lichtintensität, als Maß für den jeweiligen Abstand benutzt.

Erfindungsgemäß wird das divergente Licht, das aus der ersten Lichtleitfaser austritt mittels eines kollimierenden optischen Elementes als parallele Lichtstrahlen in Richtung auf die jeweilige reflektierende Oberfläche gerichtet, wobei zwischen kollimierendem optischen Element und der reflektierenden Oberfläche mindestens zwei in Richtung auf die reflektierende

Oberfläche fokussierende optische Elemente, deren optische Achsen parallel zur optischen Achse des kollimierenden optischen Elementes ausgerichtet sind, angeordnet sind. Diese mindestens zwei fokussierenden optischen Elemente weisen dabei einen konstanten Abstand zueinander auf, so dass die Abstände ihrer optischen Achsen auch bei einer höheren Anzahl von fokussierenden optischen Elementen ebenfalls konstant gehalten sind.

10

So ist es beispielsweise vorteilhaft, wenn mehrere solcher fokussierenden optischen Elemente vorhanden sind, die zumindest entlang einer Achse eine Reihenanordnung bilden bzw. zur Erhöhung der Messempfindlichkeit mehrere Reihen solcher fokussierenden Elemente eine Arrayanordnung bilden. Dabei sollten die optischen Achsen und dementsprechend auch alle fokussierenden optischen Elemente äquidistant zueinander angeordnet sein.

20

Bevorzugt ist es außerdem, diese fokussierenden optischen Elemente bezüglich ihrer optischen Eigenschaften, was insbesondere auf ihre Brennweite zutrifft, gleich zu gestalten.

25

Die fokussierenden optischen Elemente sollten unter Berücksichtigung ihrer jeweiligen Brennweite in einem optimierten Abstand zur jeweiligen reflektierenden Oberfläche angeordnet sein, so dass sich bereits geringe Abstandsänderungen in sich signifikant verändernden gemessenen Lichtintensitäten am optischen Detektor widerspiegeln können.

35

So kann ein mittlerer Abstand zwischen fokussierenden optischen Elementen und reflektierender Oberfläche so gewählt sein, dass dieser mit der jeweiligen Brenn-

punktebene der fokussierenden optischen Elemente übereinstimmt.

Bei der erfindungsgemäßen Anordnung sollte aber auch der Abstand zwischen der Ebene, in der die fokussierenden optischen Elemente angeordnet sind und dem kollimierenden optischen Element konstant gehalten sein.

Vorteilhaft wirkt es sich aus, wenn die jeweiligen konvexen Oberflächen der fokussierenden optischen Elemente, die bevorzugt als Zylinderlinsen ausgebildet sein können, asphärisch gekrümmt sind. Eine solche asphärische Krümmung der konvexen Oberfläche des kollimierenden optischen Elementes ist ebenfalls vorteilhaft. Das kollimierende optische Element kann als plankonvexe Linse ausgebildet sein, wobei die konkav gekrümmte Oberfläche in Richtung auf die reflektierende Oberfläche, deren Abstand zu bestimmen ist, weist.

Es besteht die Möglichkeit Licht mittels einer einzigen Lichtleitfaser auf die reflektierende Oberfläche zu richten und von dort reflektiertes Licht über diese eine Lichtleitfaser auf mindestens einen optischen Detektor zu richten. Hierfür ist ein geeigneter Koppler zur Lichtquelle und zum Detektor einzusetzen.

Ist die reflektierende Oberfläche in einem Soll- bzw. Bezugsabstand angeordnet, bei der sie in der Brennpunktebene der reflektierenden optischen Elemente angeordnet ist, erfolgt eine vollständige Abbildung des aus der Lichtleitfaser auf die reflektierende Fläche gerichteten und von dort reflektierten Lichtes in diese Lichtleitfaser und es kann eine maximale Intensität detektiert werden. Vergrößert oder verringert

sich der Abstand der reflektierenden Oberfläche erfolgt keine vollständige Abbildung und die über die Lichtleitfaser den optischen Detektor erreichende Intensität ist entsprechend reduziert, so dass die erfassbare Lichtintensitätsreduzierung ein Maß für den veränderten Abstand ist.

Wird in der Nähe der bezeichneten einen Lichtleitfaser mindestens eine weitere Lichtleitfaser angeordnet, die von der reflektierenden Oberfläche Licht auf einen weiteren optischen Detektor richten kann, erhöht sich die mit diesem optischen Detektor erfassbare Lichtintensität bei sich veränderndem Abstand, sobald die reflektierende Oberfläche außerhalb der Brennpunktebene der reflektierenden optischen Elemente angeordnet, also bewegt worden ist. Gleichzeitig reduziert sich die Lichtintensität, die mit der anderen Lichtleitfaser über den optischen Koppeler/Faserverzweiger auf den entsprechenden optischen Detektor gerichtet wird.

Bei der erfindungsgemäßen Anordnung können auch mindestens zwei Lichtleitfasern eingesetzt werden, die außerhalb (neben) der optischen Achse zumindest des kollimierenden optischen Elementes angeordnet sind. Hierbei kann auf einen optischen Koppeler/Faserverzweiger an Lichtleitfasern verzichtet werden. Dabei wird durch eine Lichtleitfaser lediglich Licht auf die reflektierende Oberfläche gerichtet und von dort reflektiertes Licht über die erwähnten optischen Elemente in die eine oder weitere zusätzliche Lichtleitfaser(n) eingekoppelt und mittels optischer Detektoren die jeweilige sich abstandsabhängig verändernde Lichtintensität erfasst.

als reflektierende optische Elemente eingesetzt werden.

Bei der erfindungsgemäßen Anordnung können die Stirnflächen von Lichtleitfasern orthogonal zur optischen Achse des jeweiligen kollimierenden optischen Elementes ausgerichtet sein, was sowohl für die mindestens eine Lichtleitfaser für die Bestrahlung der reflektierenden Oberfläche, wie auch für von dieser Oberfläche reflektiertes Licht zutreffen kann.

Neben der Möglichkeit, dass Lichtleitfasern zumindest in einem Bereich, indem Licht aus diesen aus- und eingekoppelt wird, parallel zur optischen Achse des kollimierenden optischen Elementes ausgerichtet sind, besteht die Möglichkeit diese Lichtleitfasern in Bezug zur optischen Achse des kollimierenden optischen Elementes in einem schräg geneigten Winkel auszurichten, wobei die Neigungswinkel im Bereich zwischen 2° und 8° liegen können. So kann beispielsweise eine Anpassung insbesondere mindestens einer Lichtleitfaser für reflektiertes Licht an die Strahlformung, die mittels der fokussierenden optischen Elemente erreichbar ist, vorgenommen werden, so dass eine orthogonale Ausrichtung der Stirnfläche zur Einkopplung von reflektiertem Licht zur Krümmungsebene der fokussierenden Elemente erreichbar ist.

Es besteht aber auch eine versetzte Anordnungsmöglichkeit der eingesetzten Lichtleitfasern für die Bestrahlung der reflektierenden Oberfläche und/oder für von dort reflektiertes Licht in Bezug zur optischen Achse des kollimierenden optischen Elementes.

In einer Weiterbildungsform der erfindungsgemäßen Anordnung ist auf einer Lichtleitfaser für die Bestrah-

lung der reflektierenden Oberfläche an der Stirnfläche, an der dieses Licht ausgekoppelt wird, ein Transmissionsgitter ausgebildet.

5 In dieser Form besteht die Möglichkeit eine Bestrahlung der reflektierenden Oberfläche in Bezug zur jeweiligen Anordnung von fokussierenden Elementen lokal gezielt zu beeinflussen.

10 Bei der erfindungsgemäßen Anordnung können als Lichtquellen an sich bekannte LED's, andere inkohärente Lichtquellen oder Laserdioden eingesetzt werden, wobei in der Regel auf eine Polarisation oder eine optische Filterung verzichtet werden kann.

15 Wie bereits eingangs angedeutet, kann die erfindungsgemäße Anordnung an schwingenden Systemen günstig eingesetzt werden. So besteht die Möglichkeit die reflektierende Oberfläche als Teil einer Membran auszubilden oder auf einer solchen Membran fixiert anzutragen, so dass schwingungsbedingt auftretende Abstandsänderungen beim Schwingen einer solchen Membran detektiert werden können.

25 Bei der erfindungsgemäßen Anordnung wird also, im Gegensatz zu den bekannten Lösungen des Standes der Technik, die Abbildungsoptik aus einem kollimierenden optischen Element und einer Mehrzahl fokussierender optischer Elemente, wobei letztere in Form einer Arayanoordnung eingesetzt werden sollten, gebildet.

30 Dadurch ergeben sich weitere Möglichkeiten zur Erhöhung der Messempfindlichkeit. So kann dies durch eine Vergrößerung der numerischen Aperturen der einzelnen eingesetzten fokussierenden Elemente und auch durch entsprechende Reduzierung der Brennweite dieser fo-

kussierenden Elemente beeinflusst werden. Beide bezeichneten Parameter können aber unabhängig voneinander einen entsprechenden positiven Einfluss erwirken. Insbesondere durch die Aufteilung der Lichtstrahlung, mit der die reflektierende Oberfläche beaufschlagt wird, durch die Mehrzahl fokussierender optischer Elemente, kann bei kleinen Abständen der optischen Achsen dieser fokussierenden optischen Elemente (kleine Arraypitches) die Brennweite der fokussierenden optischen Elemente sehr deutlich reduziert werden, ohne dass sich die Divergenz im Bildraum vergrößert; was insbesondere auf den rückreflektierten Lichtanteil zutrifft.

Nachfolgend soll die Erfindung beispielhaft näher erläutert werden.

Dabei zeigen:

Figur 1 in schematischer Form ein Beispiel einer erfindungsgemäßen Anordnung mit zwei Lichtleitfasern;

Figur 2 eine Anordnung von zwei Lichtleitfasern an einem Beispiel einer erfindungsgemäßen Anordnung;

Figur 3 ein Diagramm von in Abhängigkeit eines sich verändernden Abstandes einer reflektierenden Oberfläche verändernder Koppeleffizienz;

Figur 4 ein Beispiel einer erfindungsgemäßen Anordnung mit zwei symmetrisch um eine optische Achse dezentrierten Lichtleitfasern;

- Figur 5 ein weiteres
chen strahlf
Beispiel mit einem zusätzli-
ormenden optischen Element und
- 5 Figur 6 eine räumli
nach Figur
strahlform
che Darstellung des bei Beispiel
5 zusätzlich eingesetzten
enden optischen Elementes.

10 In Figur 1 ist in einer erfindungsgemäß schematischer Form ein Beispiel ei-
ßen Anordnung gezeigt.

15 Dabei wird Licht einer nicht dargestellten Lichtquelle über eine Lich-
teitfaser 1 ausgekoppelt und in di-
vergenter Form auf ein kollimierendes optisches Ele-
ment 2 gerichtet. Die parallele Lichtstrahlung trifft
dann auf eine Aarrayanordnung 3, die aus äquidistant
zueinander angeordneten fokussierenden optischen Ele-
menten 3' gebildet ist. Dabei wird die Lichtstrahlung
von jedem der fokussierenden optischen Elemente 3' in
Richtung auf eine reflektierende Oberfläche 4, die
Bestandteil einer weiter nicht dargestellten Membran
oder auf einer solchen Membran fixiert angeordnet
ist, gerichtet.

20 Dabei sind die fokussierenden optischen Elemente 3'
so ausgebildet und in einem Abstand zur reflektieren-
den Oberfläche 4 angeordnet, die zumindest in der Nähe
ihrer Brennweite f liegt.

30 Infolge von jeweiligen Reflexionen werden die einzelnen Abbil-
dungen in die Stirnfläche der Lichtleitfaser
eingekoppelt und auf einem mit dieser Lichtleitfa-
ser verbundenen optischen Detektor (nicht darge-
stellter) gerichtet, wenn die reflektierende Oberfläche
4 außerhalb der Brennpunktebene der optischen Elemente 3'
angeordnet ist. Ist die reflektierende Oberflä-

che 4 in der Brennpunktebene der optischen Elemente 3' angeordnet, erfolgt eine Reflexion des gesamten Lichtes von der reflektierenden Oberfläche 4 zurück in die Lichtleitfaser 1.

5

Mit diesem optischen Detektor wird die Lichtintensität des reflektierten und in die Lichtleitfaser 5 eingekoppelten Lichtes erfasst und kann für eine Bestimmung des jeweiligen Abstandes der reflektierenden Fläche 4 oder gegebenenfalls auftretenden Abstandsänderungen genutzt werden.

10

Einflussgrößen sind dabei die Brennweite F des kollimierenden optischen Elementes 2, der Abstand D zwischen kollimierendem optischen Element 2 und der Arrayanordnung 3 von fokussierenden optischen Elementen 3', deren Brennweite f, die kleiner als die Brennweite F des kollimierenden optischen Elementes 2 ist.

15

Für den Fall, dass der Abstand zwischen der Arrayanordnung 3 und der reflektierenden Oberfläche 4 der Brennweite f der fokussierenden optischen Elemente 3' und Abstand der Lichtleitfaser 1 zum kollimierenden optischen Element 2, der Brennweite F des optischen Elements 2 entspricht, kann der Kern der Lichtleitfaser 1 im Maßstab 1:1 aufrecht auf sich selbst abgebildet werden.

30

Ändert sich jedoch der Abstand der reflektierenden Oberfläche 4, so erfolgt die Abbildung je nach der sich jeweils ergebenden Änderung des Abstands mehr oder weniger defokussiert, so dass nur ein Teil des Lichtes wieder in die Lichtleitfaser 1 zurück und ein anderer Teil des Lichtes in die Lichtleitfaser 5 eingekoppelt und mit dem optischen Detektor detektiert werden kann.

35

Für einen besonderen Fall, nämlich, wenn der Abstand $D = F + f$ gilt, wird der Streukreisradius R einer solchen Anordnung für ein punktförmiges Objekt in paraxialer Näherung folgendermaßen beschrieben:

$$R = 2 \cdot \frac{F}{f} \cdot NA \cdot \delta$$

Dabei sind NA die numerische Apertur der fokussierenden optischen Elemente 3' der Arrayanordnung 3 und δ die Auslenkung der reflektierenden Fläche aus der Nominalentfernung von der Arrayanordnung 3.

Die Messempfindlichkeit kann dabei durch eine Vergrößerung der numerischen Aperturen und/oder Reduzierung der Brennweite der fokussierenden optischen Elemente 3' sowie auch durch die Vergrößerung der Brennweite F des kollimierenden optischen Elementes erreicht werden.

Im Gegensatz zur Darstellung von Figur 1 besteht aber auch die Möglichkeit lediglich eine Lichtleitfaser 1 einzusetzen, aus der Licht einer Lichtquelle ausgekoppelt und über die aus kollimierendem optischen Element 2 und Arrayanordnung 3 gebildete Abbildungsoptik auf die reflektierende Oberfläche 4 zu richten und von dort rückreflektiertes Licht in diese Lichtleitfaser einzukoppeln. Dabei ist eine solche Lichtleitfaser an einen Faserverzweiger/Lichtkoppler angegeschlossen, so dass rückreflektiertes Licht auf den optischen Detektor auftreffen kann.

In Figur 2 ist ein Beispiel ebenfalls in schematischer Form gezeigt, bei dem eine Lichtleitfaser 1, als Stufenindex-Multimodefaser mit einem Kerndurchmesser von 0,1 mm und einer numerischen Apertur von

0,25 eingesetzt worden ist.

Die aus dieser Lichtleitfaser 1 ausgekoppelte Lichtstrahlung erreicht divergent, die das eine kollimierende optische Element 2 bildende plankonvexe Linse, deren konvexe Oberfläche asphärisch gekrümmt ist. Die plankonvexe Linse ist eine kommerziell erhältliche asphärische Linse mit der Bezeichnung GELTECH 350240.

Die Arrayanordnung 3 wird aus Zylinderlinsen, als fokussierende optische Elemente 3' mit einem Abstand von 0,15 mm ihrer optischen Achsen jeweils zueinander und mit einer Brennweite von 0,2 mm ausgebildet. Die einzelnen Zylinderlinsen weisen eine numerische Apertur von 0,35 auf. Dabei sind die konkav gekrümmten Flächen der Zylinderlinsen, als fokussierende optische Elemente 3' bei diesem Beispiel in Richtung auf die reflektierende Oberfläche 4 ausgerichtet. Ihre Krümmung ist ebenfalls asphärisch mit einer konischen Konstante von -2,3 ausgebildet.

Von der reflektierenden Oberfläche 4 reflektiertes Licht passiert diese Abbildungsoptik in umgekehrter Richtung. So kann reflektiertes Licht in die dezentrische Lichtleitfaser 5, die in einem Abstand von 0,2 mm zur Lichtleitfaser 1 angeordnet ist, und einen Kerndurchmesser von 0,2 mm mit einer numerischen Apertur von 0,37 aufweist, eingekoppelt werden.

Ändert sich der Abstand der reflektierenden Oberfläche 4, so wird in Abhängigkeit der jeweils auftretenden Abstandsänderung mehr oder weniger Licht in die Lichtleitfaser 5 eingekoppelt.

Eine durch Strahlverfolgung bestimmte Abhängigkeit der in die Lichtleitfaser 5 eingekoppelten Lichtin-

tensität von der jeweiligen Auslenkung/dem jeweilen Abstand der reflektierenden Oberfläche 4 aus einem Sollabstand von 0,2 mm ist in Form eines Diagramms in Figur 3 dargestellt.

In diesem Diagramm ist erkennbar, dass in einem linearen Arbeitsbereich, ausgehend von ca. 5 bis 10 µm eine erheblich erhöhte Steilheit der sich verändernden Lichtintensität infolge der erreichbaren Koppelung durch die erfindungsgemäß eingestellte Abbildungsoptik zu verzeichnen ist, was sich in einer erhöhten Messempfindlichkeit widerspiegelt.

Mit Figur 4 soll eine mögliche Ausführung der zwei Lichtleitfasern 1 und 5 um die optische Achse des kollimierenden optischen Elementes 2 dezentriert sind, gezeigt werden. Dadurch kann erreicht werden, dass falls sich die reflektierende Oberfläche 4 in einem vorgebbaren Sollabstand befindet, entweder eine Verkippung der reflektierenden Oberfläche 4 oder durch eine Dezentrierung der Lichtleitfaser 5, aus der Licht für die Bestrahlung der reflektierenden Oberfläche 4 ausgekoppelt wird, in Bezug zur optischen Achse des kollimierenden optischen Elementes ein erhöhter Anteil an von der reflektierten reflektiertem Licht in die Lichtleitfaser 5 eingekoppelt werden kann. So bewirkt auch eine Verkippung der reflektierenden Oberfläche 4, der in die Lichtleitfaser 5 eingekoppelt und mit dem optischen Detektor detektiert wird, eine Reduzierung der Intensität.

Bei dem in Figur 5 gezeigten Beispiel einer erfundungsgemäßen Anordnung sind zwischen den fokussierenden Bestandteilen einer Rechung 7 bzw. 7' ausgebildet. In nicht dargestellter Form können die

fokussierenden optischen Elemente 3' auch mit Abständen zueinander angeordnet sein, so dass zwischen ihnen Freiräume verbleiben.

5 Mit einer solchen Ausbildung einer erfindungsgemäßen Anordnung kann eine deutliche Verbesserung des Frequenzganges erreicht werden, da so ein Druckausgleich bei Abstandsänderungen der reflektierenden Oberfläche 4 erreichbar ist. Insbesondere da die Abstände zwischen reflektierender Oberfläche 4 und den fokussierenden optischen Elementen 3', insbesondere bei einer Array-Anordnung 3 gering sind, kann sich das dazwischen vorhandene Lüftpolster dämpfend auswirken. Mit 10 tels der Durchbrechungen 7, 7' oder entsprechenden 15 Freiräumen kann dieser Nachteil behoben werden.

Bei dem in Figur 5 gezeigten Beispiel ist zusätzlich ein strahlformendes optisches Element 6 zwischen dem kollimierenden optischen Element 2 und den fokussierenden optischen Elementen 3', also hier der Array-Anordnung 3 vorhanden:

Mit diesem strahlformenden optischen Element 6 können 30 Lichtverluste kompensiert werden, da so lediglich Bereiche der Array-Anordnung 3, auf denen fokussierende optische Elemente 3' angeordnet sind, beleuchtet werden und eine gezielte Lichtstrahlführung auf diese Bereiche erfolgt und dementsprechend Bereiche mit Durchbrechungen 7, 7' nicht beleuchtet werden.

Neben dem im Beispiel nach den Figuren 5 und 6 gezeigten strahlformenden Element 6 können auch ein oder auch mehrere diffraktive oder refraktive optische Elemente eingesetzt werden. Es besteht aber auch die 35 Möglichkeit (nicht dargestellt) strahlformende Elemente in das kollimierende optische Element 2 zu in-

tegrieren, so dass auf das zusätzliche Element 6 verzichtet werden könnte.

5 Beim gezeigten Beispiel wird eine Teleskop-Array-Anordnung eingesetzt:

Mit der räumlichen perspektivischen Darstellung von Figur 6 wird deutlich, dass das strahlformende optische Element 6 an zwei sich diametral gegenüberliegenden Oberflächen quadratische konkav und auf der gegenüberliegenden Seite konkav gewölbte Oberflächenbereiche 6a und 6b komplementär ausgebildet sind, die jeweils durch Menisken voneinander getrennt sind.

15 So ist die Seite des strahlformenden optischen Elements 6 mit den konkav gewölbten Oberflächen 6a in Richtung auf das kollimierende optische Element 2 weisend und mit den konkav gewölbten Oberflächenbereichen 6b in Richtung auf die fokussierenden optischen Elemente 3' weisend angeordnet.

Dabei können die gewölbten Oberflächenbereiche so angeordnet und dimensioniert werden, dass lediglich fokussierende optische Elemente 3' bestrahlt und Bereiche, in denen Durchbrechungen 7, 7' angeordnet sind, nicht bestrahlt werden.

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT...e.v., et al.

02F38094-IOF(2) - 038P 0846

Patentansprüche

5

1. Anordnung zur optischen Abstandsbestimmung einer reflektierenden Oberfläche, auf die Licht einer Lichtquelle über eine erste Lichtleitfaser gerichtet und von der reflektierenden Oberfläche reflektiertes Licht über die erste Lichtleitfaser oder mindestens eine weitere Lichtleitfaser, auf mindestens einen statisch angeordneten optischen Detektor gerichtet ist,
dadurch gekennzeichnet, dass das Licht auf und von der reflektierenden Oberfläche (4) über mindestens ein in Richtung auf die reflektierende Oberfläche (4) kollimierendes optisches Element (2) und mindestens zwei in Richtung auf die reflektierende Oberfläche (4) fokussierende optische Elemente (3'), deren optische Achsen parallel zur optischen Achse des kollimierenden optischen Elementes (2) ausgerichtet sind, in konstanten Abständen zueinander angeordnet sind, gerichtet ist.
2. Anordnung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass mehrere fokussierende optische Elemente (3') entlang einer Achse eine Reihen- oder in mehreren Reihen eine Array-anordnung bilden.
3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass die fokussierenden optischen Elemente (3') äquidistant zueinander angeordnet sind.

4. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die fokussierenden optischen Elemente (3') in konstantem Abstand zum kollimierenden optischen Element (2) angeordnet sind.
5. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die fokussierenden optischen Elemente (3'), als Zylinderlinsen ausgebildet sind.
6. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die konvexen Oberflächen der fokussierenden optischen Elemente (3') asphärisch gekrümmmt sind.
7. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das kollimierende optische Element (2) eine plankonvexe optische Linse ist.
8. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die konvexe Oberfläche des kollimierenden optischen Elementes (2) asphärisch gekrümmt ist.
9. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Stirnfläche der mindestens einen weiteren Lichtleitfaser (5) in die reflektiertes Licht einkoppelbar ist, unmittelbar neben der Stirnfläche der ersten Lichtleitfaser (1), aus der Licht der Lichtquelle austritt, angeordnet ist.
10. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer Anordnung, bei der Licht aus einer Stirnfläche einer ersten Lichtleitfaser (1) auf die reflektie-

rende Oberfläche (4) gerichtet und von dort reflektiertes Licht in die Stirnfläche dieser Lichtleitfaser (1) einkoppelbar ist, ein Faserverzweiger/Rückkoppler für Licht der Lichtquelle und für reflektiertes Licht zum optischen Detektor vorhanden ist.

11. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche; dadurch gekennzeichnet, dass die Stirnfläche(n) der ersten Lichtleitfaser und/oder der mindestens einen weiteren Lichtleitfaser (5) orthogonal zur optischen Achse des kollimierenden optischen Elementes (2) ausgerichtet ist/sind.
12. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Lichtleitfaser (1) und/oder die mindestens eine weitere Lichtleitfaser (5) jeweils in einem schräg geneigten Winkel in Bezug zur optischen Achse des kollimierenden optischen Elementes (2) ausgerichtet ist/sind.
13. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Lichtleitfaser (1) und/oder die mindestens eine weitere Lichtleitfaser (5) versetzt zur optischen Achse des kollimierenden optischen Elementes (2) angeordnet ist/sind.
14. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass auf der Stirnfläche der ersten Lichtleitfaser (1) ein Transmissionsgitter ausgebildet ist.
15. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtquelle eine LED oder eine Laserdiode ist.

16. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die reflektierende Oberfläche (4) ein Teil einer Membran oder auf einer Membran angeordnet ist.
17. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen fokussierenden optischen Elementen (3') Freiräume vorhanden oder Durchbrechungen (7, 7') ausgebildet sind.
18. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen kollimierendem optischen Element (2) und fokussierenden optischen Elementen (3') mindestens ein weiteres strahlformendes optisches Element (6) angeordnet ist oder strahlformende Elemente in das kollimierende optische Element (2) integriert sind.
19. Anordnung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das strahlformende optische Element (6) eine Teleskop-Array-Anordnung ist.
20. Anordnung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das/die strahlformende optische Element(e) (6) diffraktive oder refraktive optische Elemente ist/sind.
21. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Anordnung ein optisches Mikrofon bildet.

30

116

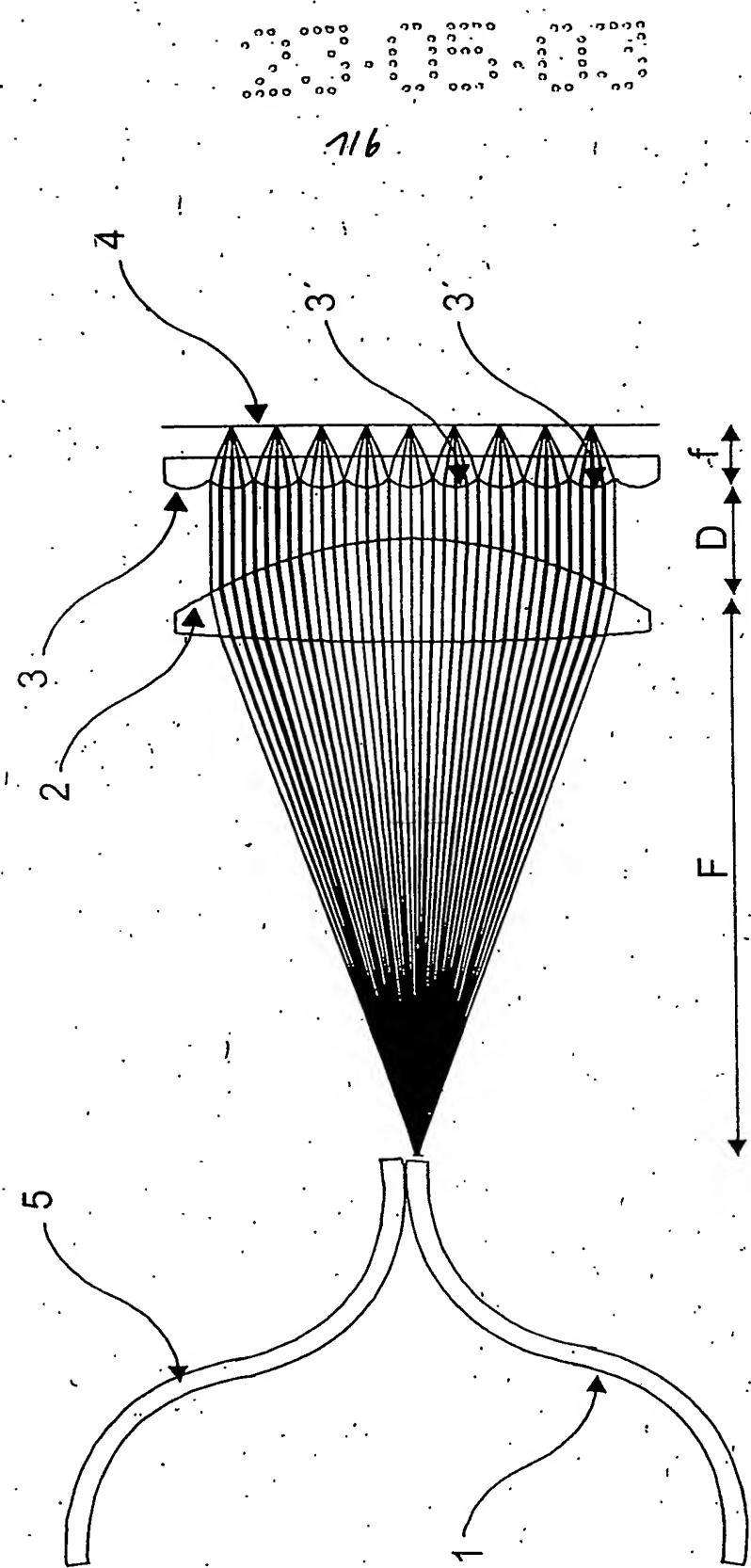


Fig. 1

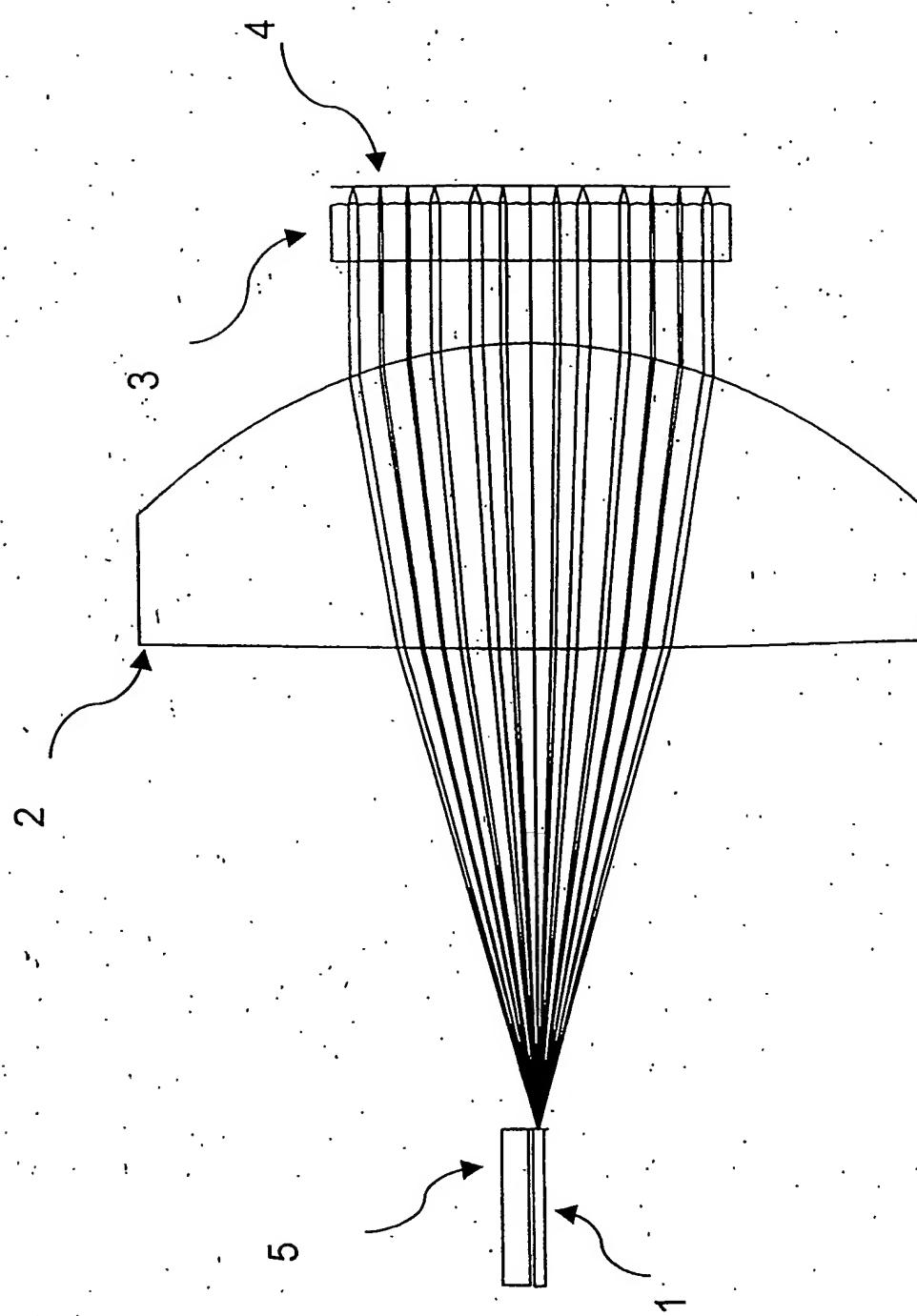


Fig. 2

81

316

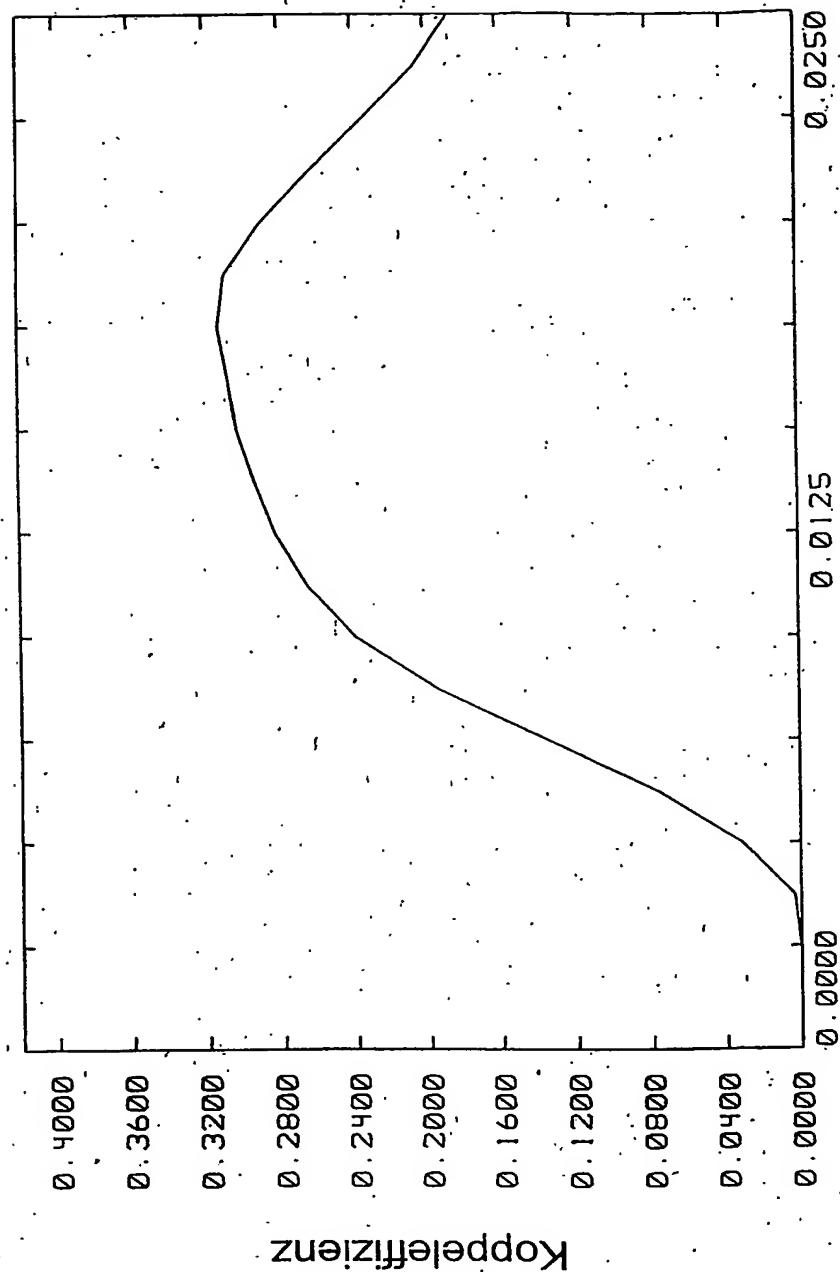


Fig. 3

Abstand [mm]

33

46

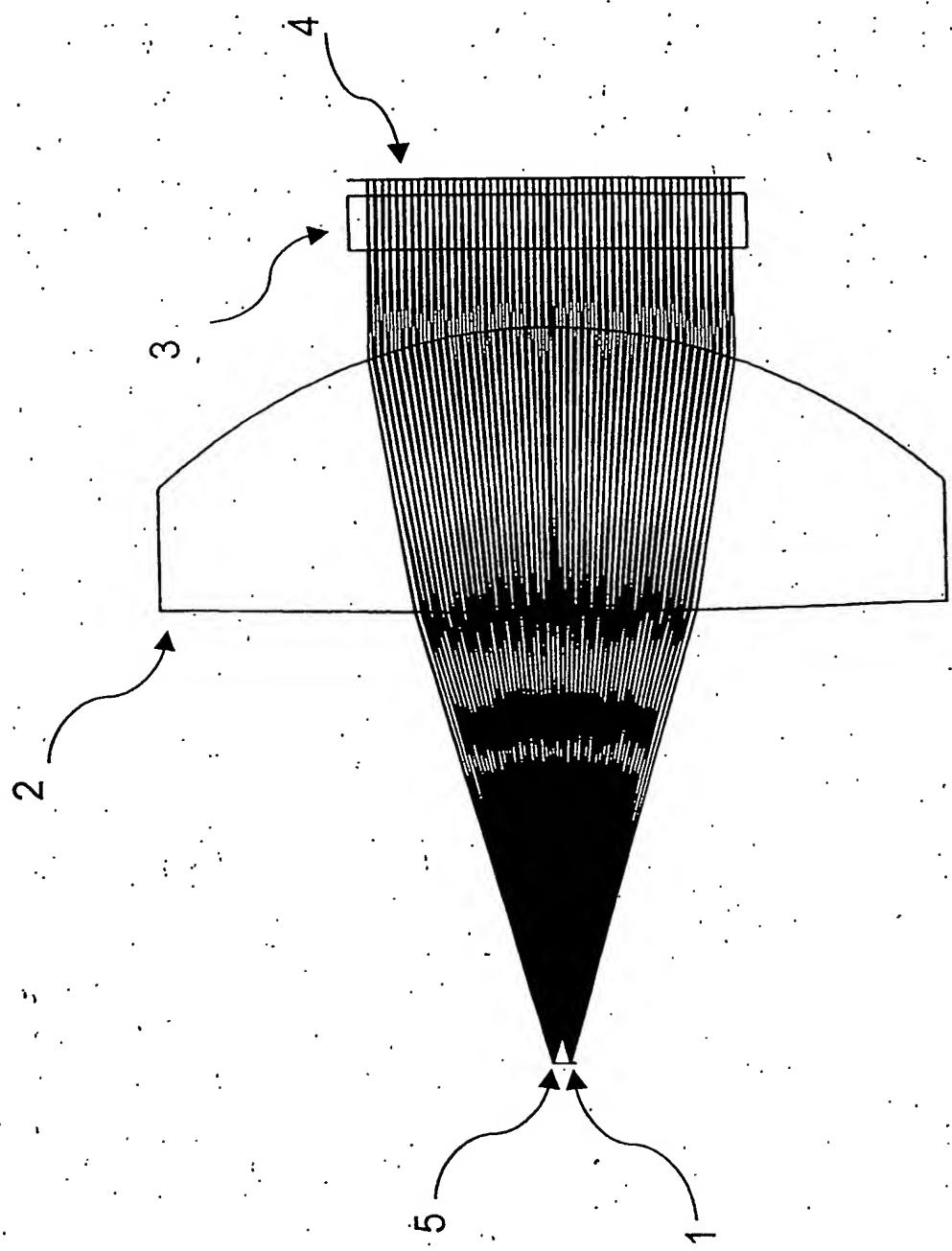


Fig. 4

5/6

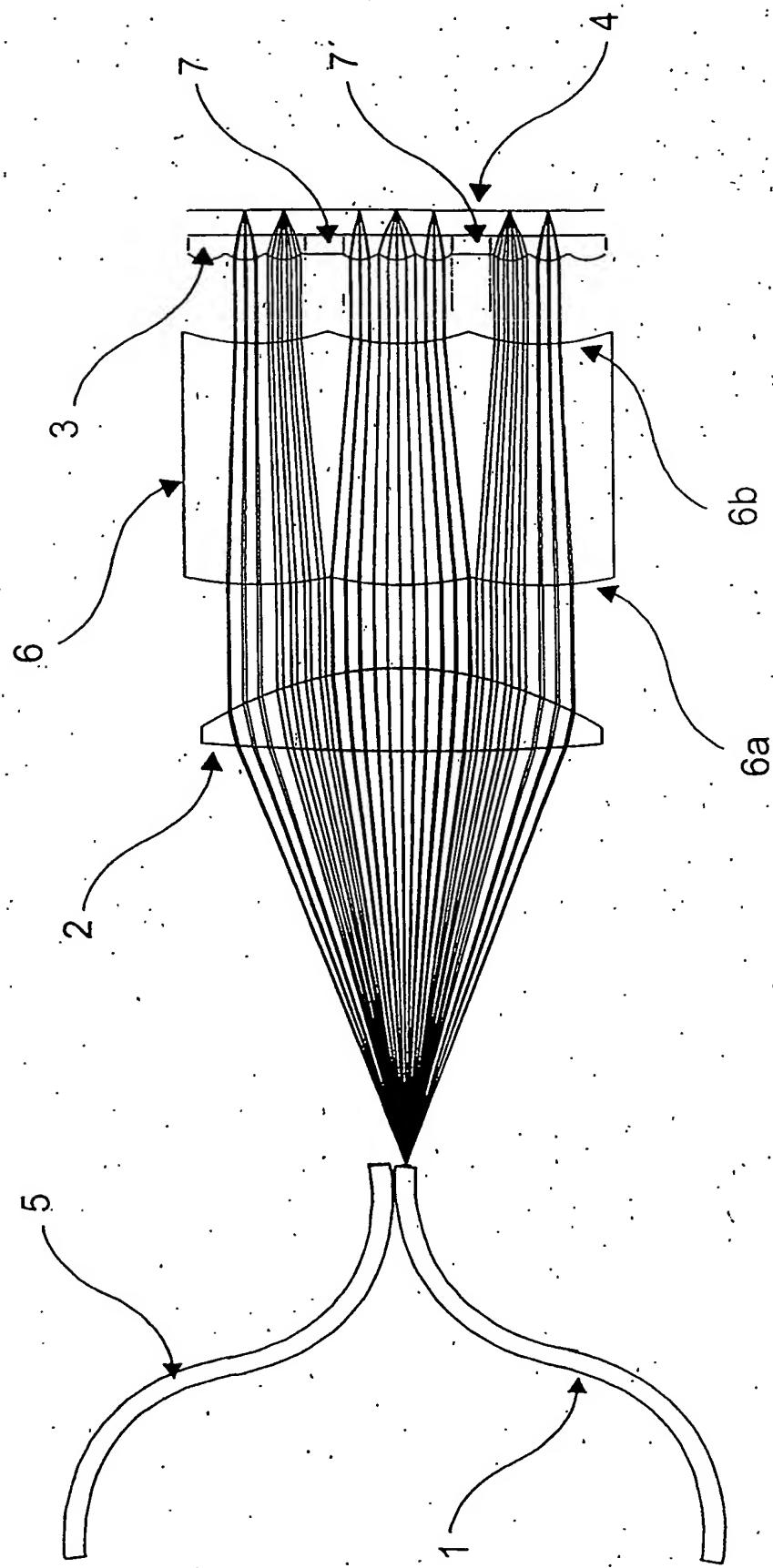
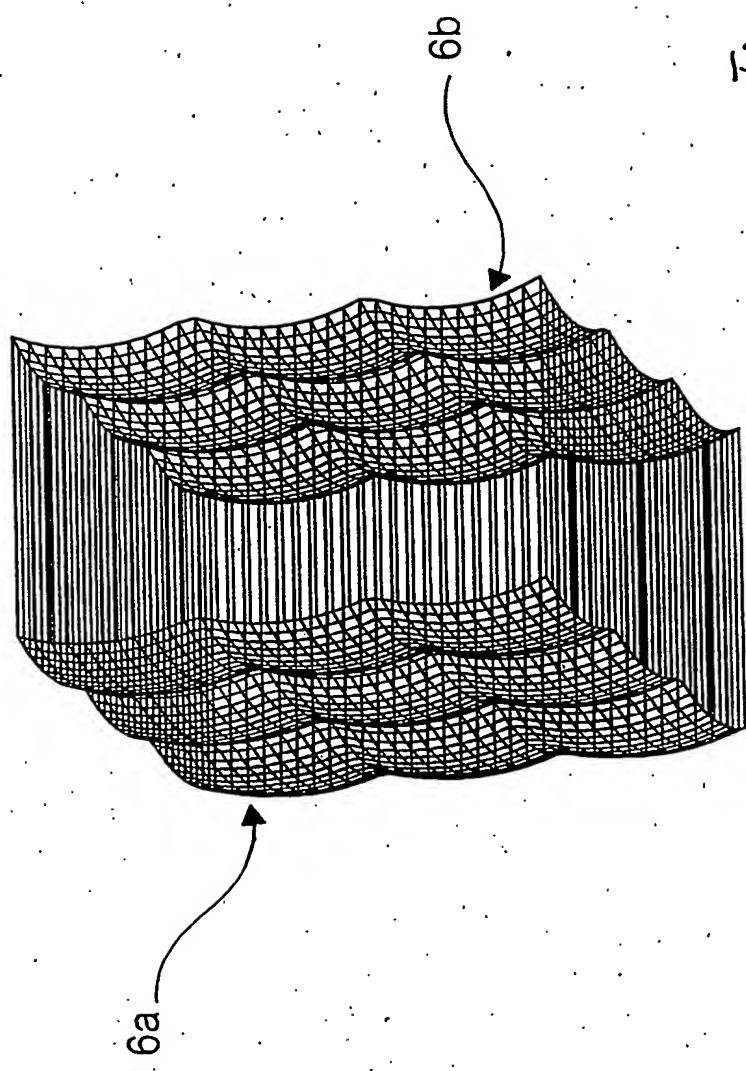


Fig. 5

3E

616

Fig. 6



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.